

분광반사특성을 이용한 벼의 생장량 추정

홍석영* · 이정택** · 임상규* · 정원교* · 조인상*

농업과학기술원 토양관리과 원격탐사연구실* · 호남농업시험장**

Estimation of Paddy Rice Growth Increment by Using Spectral Reflectance Signature

Sukyong Hong*, Jeongtaek Lee**, Sangkyu Rim*, Wonkyo Jung*, and InSang Jo*

Soil Management Division, National Institute of Agricultural Science and Technology(NIAST)*
Honam Agricultural Experiment Station**

Abstract

To have a basic idea on the spectral reflectance signature in paddy rice canopy, we measured spectral reflectance from paddy rice canopy(Ilpumbyeo) using spectroradiometer (GER Inc. SFOV : 0.35~2.50 μm) *in situ* weekly or biweekly from transplanting to ripening stage. Spectral reflectance of the visible range (0.4~0.7 μm) was decreased to below 5 % and then slightly increased again after heading stage in rice canopy. Meanwhile spectral reflectance of the near-infrared range (0.7~1.1 μm) was increased to 40~50 % and then decreased a great deal after panicle initiation stage in rice canopy. Landsat TM equivalent band set ($\bar{\rho}_{\text{TM}i}$) was created by averaging spectral reflectance values to the real TM bands. Correlation analysis between the rice crop variables (LAI, total dry matter) and TM equivalent band set ($\bar{\rho}_{\text{TM}i}$) showed that LAI and total dry matter of rice were highly correlated with visible bands such as $\bar{\rho}_{\text{TM}1}$, $\bar{\rho}_{\text{TM}2}$, and $\bar{\rho}_{\text{TM}3}$. Ratio values($\bar{\rho}_{\text{TM}i}/\bar{\rho}_{\text{TM}j}$) such as $\bar{\rho}_{\text{TM}4}/\bar{\rho}_{\text{TM}2}$ were also highly correlated with rice crop variables such as LAI and total dry matter.

Keywords : Spectral reflectance, TM equivalent band, rice, LAI, total dry matter, ratio value

요 약

분광반사 특성을 이용한 벼 군락의 생육시기별 성장량을 추정하기 위하여 분광방사계 (GER Inc. SFOV : 0.35~2.50 μm)를 이용하여 이앙기부터 수확기까지 매 1주 또는 2주 간격으로 분광반사 특성을 조사하였다. Landsat TM 동등 밴드의 평균반사율을 계산하여 엽면적지수와 건물량과 같은 벼의 중요한 성장량 관련 변수와의 관계를 살펴 보았다. 생육단계에 따른 벼 군락의 질적변화(출수, 개화, 등숙 등)와 건물량이나 엽면적의 증감에 따른 양적변화에 따라 분광반사 광량이 달라지는데 가시광선대(0.4~0.7 μm)의 경우 청색능·녹색능·적색능에서 모두 출수기까지는 성장량이 많을수록 반사율은 낮아졌으며, 출수 후 이삭이 성숙하면서 반사율은 높아졌는데 특히 적색능의 반사율은 다른 두 가시광선 파장 영역에 비하여 더 높아지는 경향이였다. 근적외선대(0.7~1.1 μm)의 경우 성장량이 많을수록 반사율은 약 45 %까지 높아졌다가 유수분화기 후 감소하여 등숙기에는 약 20 %로 낮아졌다. 또한 출수 이전의 분광반사 특성과 벼의 성장량 관련 변수와의 상관계수 값이 출수 이후보다 높게 나타났다. 한편, TM 동등 밴드의 평균반사율($\bar{\rho}_{TMi}$) 또는 밴드간 비율값 RV(Ratio Value : $\bar{\rho}_{TMi}/\bar{\rho}_{TMj}$)와 엽면적지수 및 건물량과의 상관관계를 살펴본 바, 엽면적지수와 건물량은 가시광 영역의 $\bar{\rho}_{TM1}$, $\bar{\rho}_{TM2}$, $\bar{\rho}_{TM3}$ 과 밴드간 비율값 중 $\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM3}$, $\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM2}$, $\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM1}$, $\log(\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM3})$ 등과 상관이 높게 나타났다.

1. 서 론

수동원격탐사(passive remote sensing)에서는 주로 빛과 열이라는 물리적 매체를 사용하여 피복체(被覆體)의 분광반사와 복사의 방출을 측정해서 대상물의 상태를 알아내는 기술이다. 일반적으로 분광반사 특성은 대상체 고유의 성질이지만, 농경지의 경우 그 대상체인 작물과 토양 등은 일사량(누적복사량), 수분함량, 기온 등의 환경변화에 매우 민감하기 때문에 이 물리적 신호를 생물신호로 잘 전환하여 해석하기 위해서는 정확하고 경험있는 자료축적과 기술이 요구된다(秋山 등, 1996). 분광방사계를 이용한 필드측정은 농업 원격탐사가 발달하기 시작하던 초기에, 있는 그대로의(*in situ*) 식물군락의 분광반사특성(spectral reflectance signature)과 군락의 녹색생물량(green biomass)와의 관계를 구명하기 위해 이용되었다(Yang and Miller, 1985). 원격탐사자료의 화상분류를 가능하게 하는 근본적인 이유는 지표면에 있는 피복체의 반사율(reflectance)이 다르기 때문이다. 이 반사율이 파장에 따라 다를 경우에 분광반사율(spectral reflectance)이라 하고 피복체의 반사성질에 의해 변할 경우 특성(signature)이라 정의한다(김, 1996). 그러나 피복체의 반사성질을 가지고 있더라도 자연상태 하에서 측정할 경우 상이한 태양광선의 입사방향과 감지기로 향한 반사방향에 따라 피복체의 반사율이 변한다. 이러한 현상을 방향성 분광반사 특성이라 부르며 일반적으로 3가지 유형으로 나눌 수 있는데(Hildebrandt, 1984), 첫째, 전방향의 반사 또는 산란(forward scatter direction)성질을 가진 피복체로 편평한 금속성 물질과 수직적으로 분화되지 않고 수평적인

층을 이루는 식생(갈대 및 밀)과 식생과 경사가 없고 토양면이 일정한 경우가 해당되고, 둘째, 후방향의 반사(backward scatter direction)성질을 가진 피복체는 지표상의 대부분의 식생들이며, 셋째, 산란방향과 또는 수직상 반사방향(nadir scatter direction)을 나타내는 피복체는 고운 모래와 인공적으로 표면에 BaSO₄ 물질을 입힌 램베르트판이다.

방향성 이외에 고려해야할 사항은 지형과 그림자인데, 그림자의 경우 태양의 고도와 방위각이 분광반사값의 변화요인으로 작용하지만 지형, 즉 표고 및 사면방위 그리고 경사도와 함께 변화할 경우 분광반사 특성 파악은 대단히 복잡하다. 이러한 이유 때문에 평탄한 지형은 산악지형보다 방향성 영향을 덜 받기 때문에 위성 주사자료는 방향성 보정없이도 농지이용분류를 비롯한 하천·해양의 조사에 잘 활용할 수 있다(김, 1996). 한편, 직하관측 이외의 각도의 영향을 보정하여 표준화하는 대신, 군락의 다방향성 반사계측에서 얻어진 데이터를 이용하여 엽면적지수·식피율 등의 매개변수를 계산하는 접근도 있다(Inoue, 1997).

벼 군락의 성장량을 설명하는 중요한 변수로 엽면적 지수¹⁾, 건물량²⁾을 들 수 있는데 수확결과 얻어지는 최종 수량과 밀접하게 관련되어 있다. 또한 태양입사광에 대한 벼 군락의 반사율 역시 이들 변수와 관련되어 원격탐사를 이용하여 벼의 성장량을 판단할 수 있다(이 등, 1997a, 1997b ; Shibayama and Munakata, 1986a, 1986b, 1986c). 벼 성장량과 군락의 상태를 나타내는 지표가 되는 엽면적지수와 건물량을 생육단계별로 모니터링하여 최종수량과의 관계를 도출해 내면 수량예측시기에 대한 정보도 얻을 수 있다(Yang and Miller, 1985).

본 연구에서는 분광방사계를 이용하여 이앙기에서 수확기까지의 벼 생육기간 동안 시계열분광 반사 특성을 측정하여, 이 분광반사 특성 자료를 실제 LANDSAT TM 밴드와 동등한 평균반사율을 $\bar{\rho}_{TM1}$, $\bar{\rho}_{TM2}$, $\bar{\rho}_{TM3}$, $\bar{\rho}_{TM4}$, $\bar{\rho}_{TM5}$, $\bar{\rho}_{TM7}$ 로 하고 엽면적 지수와 건물량과의 관계를 알아 보았다. (1)잎이 단위면적을 덮는 정도, (2)지상부 식물체 건조무게)

2. 연구방법

본 시험은 경기도 수원시에 위치한 농업과학기술원 답작포장에서 중만생종 일품벼를 공시하여 1996년 5월 25일 3주 1본씩 이앙하여 10월 16일에 수확하였다.

분광방사계(GER Inc. SFOV : 0.35~2.50 μ m)를 이용하여 벼(일품벼)의 이앙기부터 수확기까지 포장상태에서 매 1~2주 간격으로 오전 10~12시 사이에 분광반사 특성을 조사하였다(표 1). 측정 거리는 군락위 70 cm로 하였다. 약 25 cm \times 25 cm 크기의 램베르트판(Lambertian reflector)의 반사율을 태양으로부터 입사되는 파장의 복사에너지량을 알기 위한 기준으로 하여 이에 대한 식물 군락에서 반사되는 에너지의 양을 백분율로 나타내어 반사율로 이용하였다. 대부분의 위성의 주사각이 수직인 것을 고려하여 반사광 측정시 수직하강 측정하였다.

분광반사 특성 조사와 동시에 식물체를 3주씩 샘플링하여 엽면적, 건물량 등을 조사하였다. 엽면적은 Li-3100을 이용하여 측정하였고, 80°C 드라이오븐에서 48시간 건조시킨 후 평량한 것을 건

Table 1. Specifications of the GER SFOV.

Optics	Specifications
Detectors	Silicon Diode (350nm to 1000nm), PbS (1000nm to 3000nm)
Spectral Bandwidth	2nm in the 350nm to 1.0 micron region, 4nm in the 1.0 to 2.5 micron region
Spectral Range	350nm to 2.5 micron region
Design	125mm focal length, off axis, Ebert monochromator
Effective aperture	f/2.0
FOV	Dual 7° × 3°
Electronics	Specifications
A/D converter	15 bits
Signal processing	Phase sensitive detectors with narrow band tuning. Three stage lock-in amplifier

물량으로 하였다. 벼의 생장량이나 군락의 상태를 알기 위한 작물변수로는 주로 엽면적지수(Leaf Area Index : LAI)와 건물량(Total Dry Matter : TDM)을 들 수 있는데 엽면적 지수는 벼의 잎이 주어진 면적을 몇번 덮을 수 있는 지를 나타내는 것이고, 건물량은 지상부 식물체의 건조무게로 최종 수량과도 관련이 깊은 변수이다.

얻어진 분광반사특성 데이터는 0.1 μm 간격으로 계산하여 정리한 후 SAS 통계분석 패키지로 식물체 정보와 분광반사 특성간의 상관관계를 분석하였다.

3. 결과 및 토론

일반적으로 지표면에 도달하는 태양광의 파장영역은 0.3~3.0 μm 인 것으로 알려져 있는데 이 중에서 0.40~0.70 μm 은 광합성 유효복사량 (PAR: Photosynthetically Active Radiation)으로 가시광선대(0.38~0.77 μm)와 거의 일치하고 전체 복사량의 약 50 % 정도(맑은 날은 약 45 %, 구름이 낀 날은 약 55 %)가 이 부분에 해당한다(Goudriaan and Vanlaar, 1994). 또한 가시광선대의 녹색파장 영역인 0.5 μm 부근에서 입사광 값이 제일 높게 나타났다(그림 1).

토양의 분광반사율 곡선은 주로 모재와 토성, 토양수분 함량, 토양 유기물, free iron oxide 함량 등의 영향을 받아 이들이 복합적인 형태로 표현되고(Baumgardner et al, 1985), 작물은 엽록소, 카로테노이드와 같은 식물색소, 엽육세포의 구조, 수분함량에 따라 분광반사 특성이 달라진다고 알려져 있다(Guyot, 1990). 본 연구에서 녹색식물인 벼 군락, 풍건토양, 눈의 분광반사 곡선(curves)을 살펴본 바(그림 2) 일반적으로 풍건토양은 벼 군락에 비해 가시광선대, 중간적외선대의 반사율이 높았고 근적외선의 경우 파장영역 0.76~0.94 μm 에서는 벼 군락보다 높게, 나머지 영역에서는 낮게 나타났다. 그리고, 높은 알베도(albedo) 값을 갖는 눈의 반사특성을 조사해 보면 우선 가시광선 영역에서 가장 높은 반사율을 나타내고 있음을 알 수 있고 중적외선대의 시작과 더불어 급격히 낮

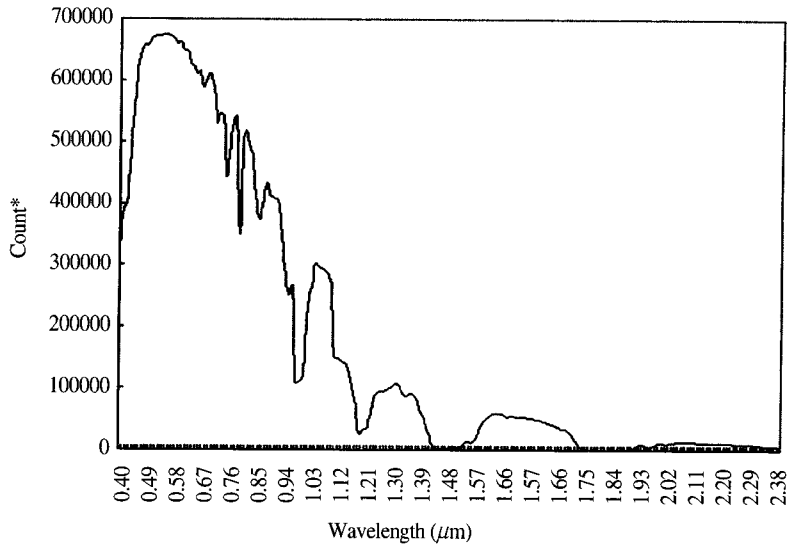


Figure 1. Spectral energy distribution of incident radiation from the sun on the Lambertian reflector. (* no unit)

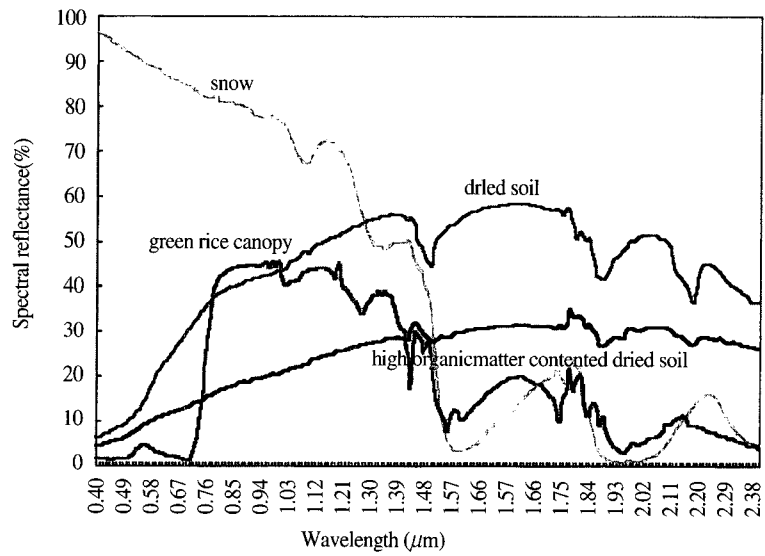


Figure 2. Spectral response characteristics of soil, snow, and green rice canopy.

은 반사율을 볼 수 있다. 특히 파장 1.45 μm 와 1.95 μm 부근에서 수분흡수대가 발견된다(Guyot, 1990). 이와 같이 중적외선 파장대에서는 토양과 벼 군락의 함유수분이 반사율에 큰 영향을 미치

고 있으므로 수분함량에 따른 분광반사 특성의 분석이 요구된다.

1) 생육단계에 따른 벼 분광반사 곡선 변화

벼 군락의 분광반사 특성은 생육단계와 생육상태에 따라 크게 변한다. 그림 3은 5월 25일 이앙한 벼(일품벼) 군락의 생육단계에 따른 분광반사의 변화를 나타내고 있다. 이앙 후 22일인 6월 16일의 경우 엽면적지수가 0.34로 이 시기는 분얼이 왕성하지 않아 논이 벼 군락으로 피복되지 않았고 논물이 여전히 피복체로 남아 있어 분광반사 측정시 수체(水體)의 영향도 함께 받게 되어 수체의 반사곡선과 비슷한 경향을 나타내었다. 잎의 생장량이 증가하는 7월 14일과 8월 11일에는 논물로 구성된 피복수체가 모두 벼 군락으로 덮여 벼 특유의 반사곡선을 나타내고 있음을 알 수 있다. 등숙기로 접어든 9월 8일에는 대체로 반사광 특성이 출수이전의 무성한 식물 군락의 반사광 특성처럼 보이지만, 가시광선 영역의 반사율이 다소 높아지고, 적색능의 반사율이 높아지는 경향으로 수확기에 가까운 10월 1일 경이 되면 녹색능과 적색능의 반사율이 거의 같아지는 것을 알 수 있었다. 이와 같은 생육단계에 따른 벼 군락의 질적변화(출수, 개화, 등숙 등)와 더불어 건물량, 엽면적의 증감에 따른 양적변화도 함께 분광반사 특성에 영향을 미치는 것으로 생각된다(Lee et al, 1997, Hong et al, 1997).

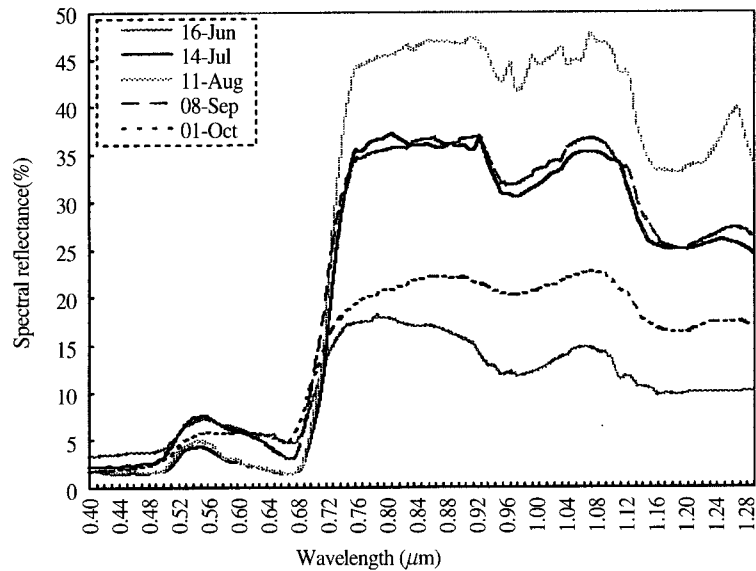


Figure 3. Spectral reflectance curves of paddy rice plant(var. ilpum) at different growing stage(transplanted at May 25).

2) LANDSAT TM 동등 파장대와 벼 생육관련 변수와의 관계

벼의 생육기간 동안 지상측정(ground-truth)한 분광반사 자료들로부터 Landsat TM 각 밴드의 파장역과 같은 파장범위로 하여 평균반사율 $\bar{\rho}_{TMi}$ 를 산출하였다. 나아가 이들 값과 벼의 주요 생육 관련 변수와의 상관관계를 살펴보았다.

표 2에서 출수 이전의 경우, 초장, 경수, 엽면적지수, 건물량은 가시광선대에 속하는 $\bar{\rho}_{TM1}$, $\bar{\rho}_{TM2}$, $\bar{\rho}_{TM3}$ 와 근적외선대인 $\bar{\rho}_{TM4}$ 에서 상관이 높게 나타났다. 그러나 출수 이후에는 경수와 엽면적지수가 가시광선대 일부에서 상관이 있었을 뿐 건물량은 상관이 없는 것으로 나타났다. 분광반사율은 주로 엽록소와 잎의 구조나 피복율에 따라 달라지는데, 출수 후 엽록소 함량이 줄어들고 잎의 생장이 멈춘 채 이삭무게가 건물량을 결정하기 때문에 분광반사율과 뚜렷한 관계가 없는 것으로 생각된다.

높은 상관관계를 가지는 평균 반사율 값을 이용하여 출수이전과 이후 각각 엽면적지수와 건물량을 추정하는 식을 만들었다. 엽면적지수는 $\bar{\rho}_{TM3}$ 을 이용하여 출수이전과 이후 결정계수가 각각 0.73과 0.63인 지수함수가 얻어졌고(그림 4), 건물량은 $\bar{\rho}_{TM1}$ 을 이용하여 출수이전에 결정계수가 0.86인 지수함수로 얻어졌으며, 출수이후에는 $\bar{\rho}_{TM3}$ 을 이용하여 결정계수가 0.70인 로그함수로 얻어졌다.(그림 5). 출수기를 분기점으로 분광반사 특성과 생육관련 변수와의 관계를 조사한 이유는, 출수기가 벼의 성장상과 생식상의 기점인 질적변화의 시기이고 일반적으로 엽면적지수가 이 시기에 최대에 달하는 경우가 많기 때문이다. 하지만, 분광반사율은 출수기 이전인 유수형성·분화기에

Table 2. Correlations between rice crop variables and TM equivalent band set($\bar{\rho}_{TMi}$), before and after heading.

	Plant Height	Stem No.	LAI	Specific Leaf Area	Total Dry Matter
<i>Before heading(n¹)=42)</i>					
$\bar{\rho}_{TM1}$	-0.75**	-0.56**	-0.75**	0.43*	-0.76**
$\bar{\rho}_{TM2}$	-0.72**	-0.57**	-0.76**	0.38	-0.76**
$\bar{\rho}_{TM3}$	-0.81**	-0.63**	-0.73**	0.55**	-0.73**
$\bar{\rho}_{TM4}$	0.43*	0.46*	0.48*	-0.35	0.43*
$\bar{\rho}_{TM5}$	-0.24	0.00	-0.04	0.31	-0.09
$\bar{\rho}_{TM7}$	-0.41	-0.24	-0.25	0.41	-0.26
<i>After heading(n¹)=52)</i>					
$\bar{\rho}_{TM1}$	0.19	0.16	0.21	0.03	0.15
$\bar{\rho}_{TM2}$	-0.37	-0.46**	-0.74**	-0.24	-0.04
$\bar{\rho}_{TM3}$	-0.28	-0.42*	-0.69**	-0.25	0.07
$\bar{\rho}_{TM4}$	-0.01	0.20	0.19	0.10	-0.13
$\bar{\rho}_{TM5}$	0.07	0.06	0.03	-0.14	0.10
$\bar{\rho}_{TM7}$	-0.03	-0.11	-0.20	-0.19	0.06

* Denotes significance at the 5 percent level ** Denotes significance at the 1 percent level

¹⁾ Number of samples used in correlation analysis

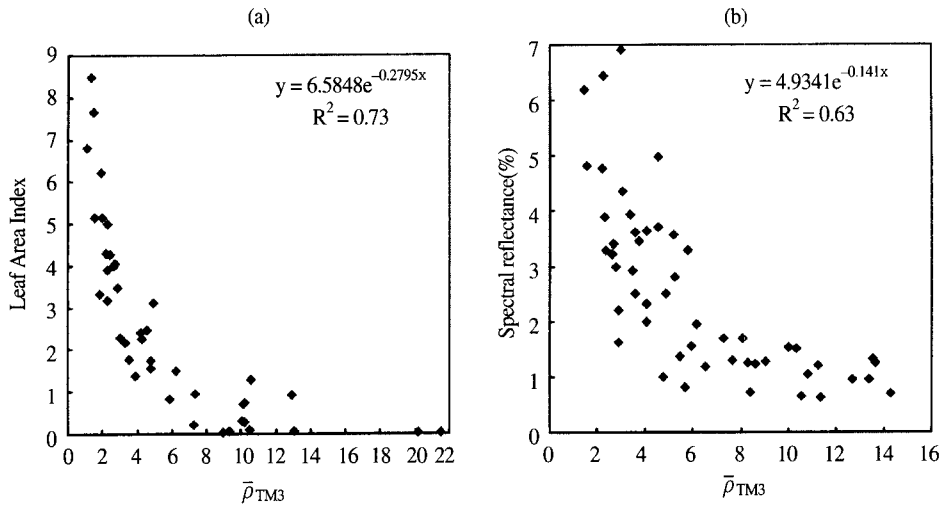


Figure 4. Relationships between leaf area index of paddy rice and $\bar{\rho}_{TM3}$, before(a) and after(b) heading stage.

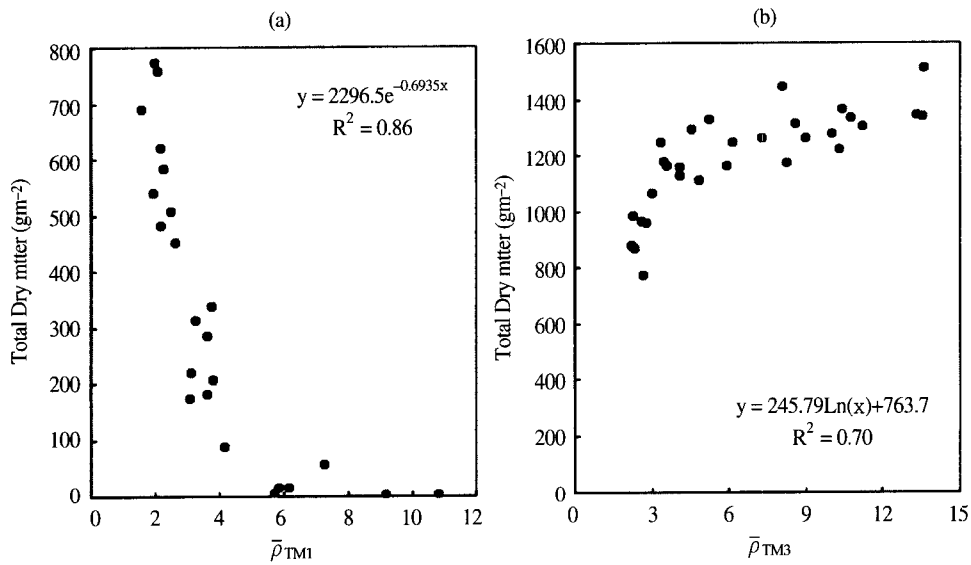


Figure 5. Relationships between total dry matter of paddy rice and $\bar{\rho}_{TM1}$, before(a) and after(b) heading stage

근적외선대의 반사율이 최대인 경향을 보이므로(Hong et al., 1997) 이것을 고려해 자료를 분석하는 것도 필요하다고 생각된다. 또한 이러한 개념을 위성자료에 응용하기 위해서는 이들 관계식과 위성에서 감지되는 반사값(digital number)과의 관계를 살펴보아야만 한다.

3) 밴드간 비율과 벼 생육관련 변수와의 관계

식물의 생육상태를 파악하는데는 하나의 밴드를 이용한 반사값 분석 외에 밴드간의 비율값을 사용한다. 따라서 알려진 다중분광 밴드를 기초로 한 밴드간 비율을 조사하여 벼 생육관련 변수와의 관계를 구명하는데 이용하기로 한다. 표 3에 나타난 밴드간 비율값 RV(Ratio Value)는 전절에서 언급한 Landsat TM 각 밴드에 해당하는 파장역에 의해 산출된 평균 반사율 $\bar{\rho}_{TMi}$ 를 기초로 한다. 출수 이전에는 전반적으로 벼의 생육관련 변수인 엽면적지수, 건물량 등과 RV들과 상관이 높게 나타났으나, 표 4에서 보는 바와 같이 출수 이후에는 엽면적지수를 제외하고는 RV와의 관계가 뚜렷이 나타나지 않았다. 엽면적지수는 RV들과 상관이 높게 나타났는데 특히 $RV(\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM2})$ 는 전생육기간에 걸쳐 엽면적지수와 밀접하게 관련된 것으로 나타났다. 건물량 역시 RV와 상관이 높았으며 출수 이후는 건물량과 상관을 나타내는 식생지수가 하나도 없는 것으로 나타났다.

Table 3. Ratio value used.

Ratio value	Explanations
$RV(\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM3})$	$\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM3}$
$RV(\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM2})$	$\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM2}$
$RV(\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM1})$	$\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM1}$
$RV(\log(\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM3}))$	$\log(\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM3})$
$RV(\bar{\rho}_{NDVI})$	$((\bar{\rho}_{TM4} - \bar{\rho}_{TM3})/(\bar{\rho}_{TM4} + \bar{\rho}_{TM3}))$

Table 4. Correlations between rice crop variables and ratio values, before and after heading.

	Plant Height	Stem No.	LAI	Specific Leaf Area	Total Dry Matter
<i>Before heading(n¹=53)</i>					
$RV(\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM3})$	0.77**	0.61**	0.90**	-0.40	0.88**
$RV(\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM2})$	0.69**	0.60**	0.92**	-0.33	0.87**
$RV(\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM1})$	0.78**	0.60**	0.87**	-0.43*	0.86**
$RV(\log(\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM3}))$	0.67**	0.65**	0.90**	-0.35	0.82**
$RV(\bar{\rho}_{NDVI})$	0.85**	0.63**	0.80**	-0.60**	0.80**
<i>After heading(n¹=57)</i>					
$RV(\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM3})$	0.30	0.37	0.53**	0.13	0.08
$RV(\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM2})$	0.41	0.65**	0.89**	0.27	0.08
$RV(\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM1})$	0.30	0.50**	0.67**	0.17	-0.05
$RV(\log(\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM3}))$	0.34	0.41*	0.56**	0.13	0.22
$RV(\bar{\rho}_{NDVI})$	0.28	0.33	0.48**	0.12	0.09

* Denotes significance at the 5 percent level ** Denotes significance at the 1 percent level

¹⁾ Number of samples used in correlation analysis

벼의 생육기간 동안 $RV(\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM2})$ 와 엽면적지수와와의 관계를 조사한 바 비율값이 커질수록 엽면적지수도 커지는 일차함수로 나타났다(그림 6). $RV(\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM2})$ 가 1씩 증가함에 따라 출수이전에는 엽면적지수가 0.4838씩 증가하였고, 출수 이후에는 0.5947씩 증가하였다. 건물량은 영양생장기

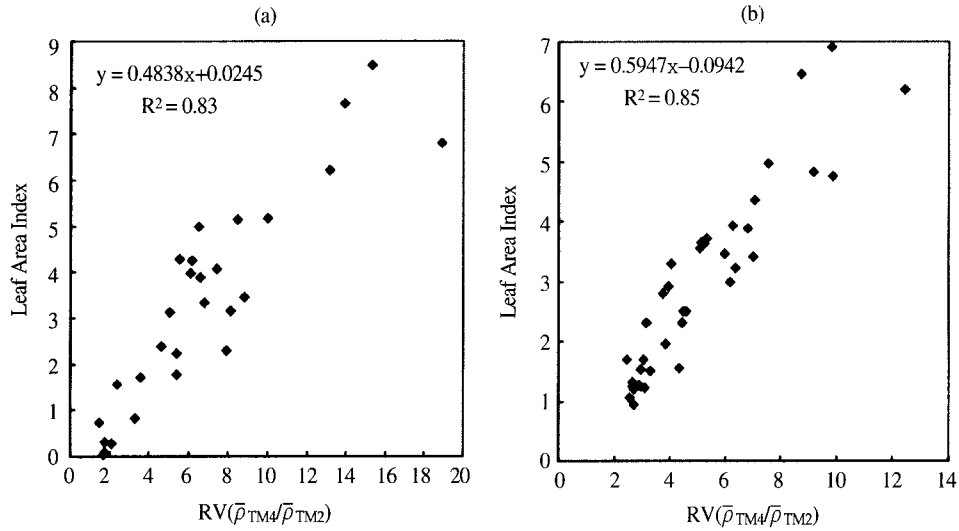


Figure 6. Relationships between leaf area index of paddy rice and $RV(\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM2})$, before(a) and after(b) heading stage.

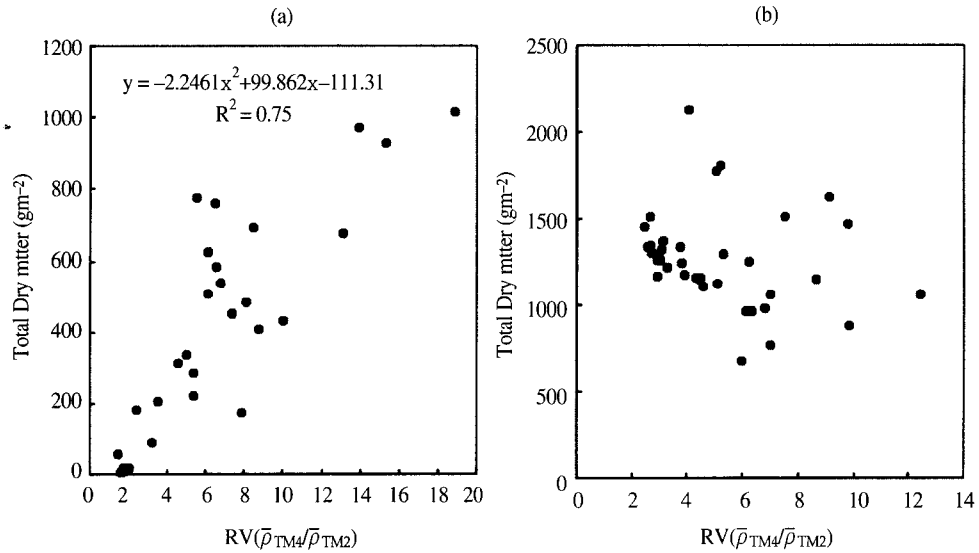


Figure 7. Relationships between total dry matter of paddy rice and $RV(\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM2})$, before(a) and after(b) heading stage.

동안은 $RV(\bar{\rho}_{TM4}/\bar{\rho}_{TM2})$ 와 이차함수의 관계를 나타냈으나 출수 이후는 뚜렷한 관계를 나타내지 않았다(그림 7).

일반적으로 작물에서는 수량(收量)과 성장량(生長量)을 건물량(乾物量)으로 표시할 수 있기 때문에 분광반사율과 벼 생육관련 변수와의 관계를 구명하는데 건물량을 조사하였으나, 실제 위성이 감지하는 지표면의 대상체는 생물량(生物量; biomass) 상태이기 때문에 벼 군락의 정확한 성장량을 파악하기 위해서는 생체중(生體重; fresh weight)에 대한 검증자료가 요구된다.

4. 결 론

위성에 기록되는 수치자료(DN: digital number)는 지표면 대상체의 반사값으로 간주할 수 있다. 이는 지표면 대상체의 고유한 성질로, 특히 식물의 경우 생육상태에 따라 태양광의 흡수·반사율이 달라진다. 생육에 따른 태양광의 반사 정도를 파악하는 것이 결국 위성자료를 이용한 작물의 모니터링의 기본이라고 생각하고 벼의 성장량을 나타내는 중요한 매개변수인 엽면적지수와 건물량을 중심으로 분광반사율과의 관계를 살펴 보았다. 분광반사 특성은 작물의 성장해석보다는 위성 자료의 해석에 주안점을 두어 가공·분석되었는데, Landsat TM의 각 밴드에 해당하는 파장범위에 있어 평균반사율($\bar{\rho}_{TMi}$)을 계산하여 벼의 주요 생육관련 변수와의 관계를 살펴보았다. TM 동등 밴드의 평균반사율($\bar{\rho}_{TMi}$) 또는 밴드간 비율값 $RV(\text{Ratio Value} : \bar{\rho}_{TMi}/\bar{\rho}_{TMi})$ 와 엽면적지수 및 건물량의 상관관계가 높은 것으로 나타났고, 이를 토대로 관계식도 구할 수 있었다.

사 사

본 논문은 농업과학기술원 논문투고 승인번호 98-1-2-11입니다. 또한 용어선정에 도움을 주시고 세심하게 논문내용을 수정해 주신 국민대학교 산림자원학과 김 천 교수님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김천, 1996. Fuyo-1 OPS자료를 이용한 낙동강 하류지역의 환경계측 시고, 대한원격탐사학회지, 12(2) : 169-198.
- 이정택, 이춘우, 주문갑, 홍석영, 1997a. 태양광 반사율을 이용한 벼 군락의 엽면적지수 추정, 한국작물학회지, 42(2) : 173-181.
- 이정택, 이춘우, 주문갑, 홍석영, 김한명, 1997b. 벼 군락 태양복사 반사스펙트럼 특성에 따른 건물량 추정, 한국작물학회지, 42(3) : 255-262.

- 秋山侃, 福原道一, 齋藤元也, 深山一弥, 1996. 農業リモートセンシング, 農林水産省農業環境技術研究所, pp. 1-2.
- Baumgardner, M. F., L. F. Silva, L. L. Biehl, and E. R. Stoner, 1985. Reflectance properties of soils, *Advances in Agronomy*, 38 : 1~44.
- Goudrian, J. and H. H. Vanlaar, 1994. *Modelling potential crop growth processes ; Textbook with exercises*, Kluwer academic publishers, p. 32.
- Guyot, G., 1990. *Applications of remote sensing in agriculture*, Butterworths, pp. 19-43.
- Hilderbrandt, G., 1984. *Das reflexions-und emissionsverhalten natürlicher oberflächen ; Luftbildmessung und fernerkundung in der forstwirtschaft*, Herbert Wichmann Verlag, pp. 23-37.
- Hong, S. Y., J. T. Lee, S. K. Rim, and J. S. Shin, 1997. Radiometric estimates of grain yields related to crop aboveground net production(ANP) in paddy rice, *Proc. of '97 IGARSS, IEEE Vol. IV*, pp. 1793-1795.
- Inoue, Y., 1997. Remote and non-destructive sensing for precision crop and field management, II. Prospect of remote and non-destructive sensing in precision crop management, *Japan Jour. Crop Sci.*, 66(3) : 511-523.
- Lee, J. T., C. W. Lee, S. Y. Hong, and M. E. Park, 1997. Estimation of leaf area index and total dry matter of rice canopy by using spectral reflectance. *Proc. of '97 IGARSS, IEEE Vol. I*, pp. 92-94.
- Shibayama, M. and K. Munakata, 1986a. A spectroradiometer for field use, II. Biomass estimates for paddy rice using 1,100 and 1,200 nm reflectance, *Japan Jour. Crop Sci.*, 55(1) : 28-34.
- Shibayama, M. and K. Munakata, 1986b. A spectroradiometer for field use, III. A comparison of some vegetation indices for predicting luxuriant paddy rice biomass, *Japan Jour. Crop Sci.*, 55(1) : 47-52.
- Shibayama, M. and K. Munakata, 1986c. A spectroradiometer for field use, IV. Radiometric prediction of grain yields for ripening rice plants, *Japan Jour. Crop Sci.*, 55(1) : 53-59.
- Yang, Y. K. and L. D. Miller, 1985. Correlations of rice grain yields to radiometric estimates of canopy biomass as a function of growth stage, *J. of the Korean Society of Remote Sensing*, 1(1) : 63-67.